



Vers une ontologie des processus de propagation des maladies infectieuses

Gaoussou Camara, Sylvie Després, Rim Djedidi, Moussa Lo

► To cite this version:

Gaoussou Camara, Sylvie Després, Rim Djedidi, Moussa Lo. Vers une ontologie des processus de propagation des maladies infectieuses. 23èmes journées francophones d'ingénierie des connaissances, Jun 2012, Paris, France. pp.99-114. hal-00719970

HAL Id: hal-00719970

<https://hal.science/hal-00719970>

Submitted on 23 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vers une ontologie des processus de propagation des maladies infectieuses

Gaoussou Camara¹, Sylvie Despres², Rim Djedidi² et
Moussa Lo¹

¹LANI, Université Gaston Berger, Sénégal

{gaoussou.camara,moussa.lo}@ugb.edu.sn

²LIM&BIO, Université Paris 13

{sylvie.despres,rim.jedidi}@univ-paris13.fr

Résumé : Plusieurs ontologies sont construites au sein du projet Infectious Disease Ontology (IDO) pour fournir un vocabulaire commun du domaine et une représentation formelle des connaissances permettant de garantir leur partage, l'interopérabilité entre applications et le raisonnement. Dans ce papier, l'ontologie que nous proposons présente la modélisation des connaissances sur la *propagation* des maladies infectieuses. Le modèle prend en compte la structure multidimensionnelle et la nature complexe de la dynamique de propagation des maladies infectieuses. Nous étudions la propagation à l'échelle de la population tout en montrant ses interdépendances avec les processus sous-jacents aux échelles individuelle et biologique. Le choix de catégorisation des entités du domaine en tant que *continuant* ou *occurrent* est étudié. Une extension du modèle à la propagation de la bilharziose au Sénégal est également présentée.

Mots-clés : Ontologie de domaine, ontologie de processus, maladie infectieuse, processus de propagation, bilharziose.

1 Introduction

La construction d'un système de veille épidémiologique pour la surveillance de maladies infectieuses constitue le point de départ de ce travail. La veille épidémiologique consiste à surveiller l'évolution d'un phénomène épidémiologique. Dans ce cas, il s'agit d'une maladie infectieuse évoluant dans le temps et se propageant dans une population localisée dans une région géographique. Un phénomène épidémiologique fait intervenir un très grand nombre d'entités (hôte, vecteur, agent pathogène, facteurs de risque, etc.) dont les interactions donnent lieu à l'émergence d'événements (nouveaux cas, infestation d'un point d'eau, etc.) pouvant se situer à différents niveaux d'échelles spatiales (régionale,

continentale, mondiale) et temporelles (saisonnière par exemple). Ces particularités font qu'un phénomène épidémiologique est qualifié de système complexe et peut, par conséquent, être modélisé comme un processus (Le Moigne, 1990).

Dans ce papier, nous présentons le résultat de nos réflexions pour l'élaboration d'une ontologie des processus de propagation des maladies infectieuses. En effet, s'il existe déjà des ontologies du domaine des maladies infectieuses comme IDO¹, qui fournissent une représentation formelle des concepts du domaine des maladies infectieuses, la représentation du mécanisme de la propagation n'y est pas prise en compte. C'est ainsi que nous proposons d'apporter une contribution au domaine en modélisant la dynamique des processus sous-jacents au domaine des maladies infectieuses. L'intérêt d'une telle approche est démontré dans (Camara *et al.*, 2012). En effet, les systèmes de veille épidémiologique sont utilisés pour contrôler la propagation des maladies et suggérer des plans d'action afin d'anticiper sur des risques probables. Les simulations réalisées par les systèmes de veille pour réaliser des prédictions sont fondées sur des modèles numériques difficilement utilisables lorsque la collecte des données est impossible. L'objectif de l'utilisation d'une ontologie des processus est de permettre la reproduction des comportements possibles d'un système complexe à partir de la description abstraite de ses processus internes et de ses différents états possibles. Ainsi, un raisonnement qualitatif (Forbus, 1997) sur l'ontologie des processus permettra de prédire des occurrences d'événement ou des changements d'état, ou de déterminer la cause d'une observation en s'affranchissant de la nécessité de données numériques. Ce raisonnement pourra être utile dans l'identification des causes de l'émergence ou de la propagation d'une maladie infectieuse. En outre, la description sémantique des processus permettra de partager les connaissances entre les organisations de santé publique et d'assurer l'interopérabilité entre les modèles de processus et les applications en santé publique.

Dans cet article, nous étudions les concepts du domaine des maladies infectieuses et leurs relations au sein du processus de propagation. Nous analysons également la dynamique globale d'un point de vue multidimensionnel en tenant compte des dépendances entre les niveaux biologique, clinique et épidémiologique. Plutôt que donner une ontologie formelle complète et axiomatisée, nous mettons l'accent sur la conception d'un modèle général du processus de propagation des maladies infectieuses qui pourra être réutilisé et étendu pour une maladie spécifique. L'organisation de cette présentation est la suivante : après avoir présenté les fondements théoriques de la modélisation ontologique des processus, nous étudions le processus de propagation des maladies. Ensuite, nous décrivons l'ontologie de la propagation des maladies

¹ Infectious Disease Ontology : <http://infectiousdiseaseontology.org>

infectieuses, avant de détailler son extension à la propagation de la bilharziose au Sénégal.

2 Modélisation des processus

La tâche de construction d'une ontologie de domaine est essentiellement centrée sur les concepts correspondants aux entités statiques et leurs relations, indépendamment de leur évolution dans le temps et l'espace. Elle fournit un vocabulaire commun pour faciliter la communication et une spécification explicite et formelle des connaissances du domaine (Studer *et al.*, 1998) pour permettre leur partage et assurer l'interopérabilité des applications qui les exploitent.

La tâche de construction d'une ontologie de processus porte quant à elle, essentiellement sur les entités dynamiques du domaine, c'est-à-dire la sémantique des processus et leurs relations avec les événements, les états et les objets. En outre, les objets impliqués dans les processus peuvent correspondre à des concepts (ou à leurs instances) déjà modélisés dans une ontologie du domaine. Il est essentiel de mentionner, pour le cas de la propagation d'une maladie infectieuse, la nécessité de modéliser conjointement les connaissances du domaine et les connaissances sur les processus ainsi que leurs relations. Cette approche de modélisation a été adoptée dans notre travail.

2.1 Définitions : processus, événements, états, objets

Dans les paragraphes suivants, nous dressons un état de l'art relatif aux définitions formelles des notions essentielles (processus, événement, état et objet) intervenant dans notre modélisation.

2.1.1 Qu'est-ce qu'un processus?

Des définitions formelles de processus sont proposées en philosophie (Galton, 2008) (Galton & Mizoguchi, 2009) mais aussi dans le domaine des sciences de l'information et de la communication (Le Moigne, 1990). Selon une synthèse des points de vue relatifs à ces différents domaines, un processus est une entité se déroulant dans le temps et l'espace qui est susceptible de subir des changements. Ainsi, les concepts de *temps*, de *changement* et d'*espace* peuvent être considérés comme constitutifs des processus. Un processus possède des *propriétés* pouvant changer au cours de son déroulement dans le temps. Ces propriétés sont appelées *propriétés temporelles*. Le changement peut intervenir dans un processus de façon discontinue par exemple d'un intervalle de temps à un autre. En se référant à la notion de *fenêtre de temps* telle qu'elle est définie dans (Galton & Mizoguchi, 2009), le changement intervient sur une propriété (du processus) d'une fenêtre de temps à une autre (par exemple, le

changement de vitesse de la propagation d'une maladie qui peut être lente dans une fenêtre de temps et rapide dans la suivante). Dans le domaine de la philosophie, le rôle joué par l'espace semble beaucoup moins important que ceux du temps et du changement. Dans le cas des systèmes complexes, (Le Moigne, 1990) précise le rôle de l'espace dans la définition de la notion de processus : « On parle de processus lorsqu'il y a, au fil du temps T , la modification de la position dans un référentiel « Espace-Forme », d'une collection de « produits » quelconques identifiables par leur forme [...] ».

2.1.2 Qu'est-ce qu'un événement ?

Ontologiquement parlant, les événements sont définis comme des occurrences (ou faits) qui sont par nature dénombrables (Mourelatos, 1978). Un événement est instantané ou s'étend dans un intervalle de temps bien défini [T_{init} , T_{final}]. Un événement n'évolue pas au cours du temps, il ne possède pas de propriétés temporelles.

2.1.3 Qu'est-ce qu'un état ?

Un état représente une configuration d'un objet ou d'une collection d'objets à un instant donné. Par exemple, l'état de santé d'une personne ou le taux d'infection d'une population. Un état peut être le résultat d'un changement ou peut fournir un potentiel de changement (Mourelatos, 1978).

2.1.4 Qu'est-ce qu'un objet ?

Les objets sont les entités perceptibles de la réalité, que l'on peut désigner et qui ont une fonction. Les objets peuvent être concrets (physiques) ou abstraits (mentaux ou sociaux). Un objet est persistant et son état peut changer dans l'espace et au cours du temps. Ces changements résultent de processus internes et/ou externes à l'objet. Cette vision interne et externe relative à l'objet résulte de la granularité de la description du système complexe observé. Par exemple, une *personne* est le sujet de processus internes (infection ou digestion) et de processus externes (la propagation d'une maladie). La structure d'un objet est par conséquent maintenue par des processus internes et externes. L'objet lui-même est impliqué dans des processus externes de son environnement.

2.2 Catégorisation des processus, événements, états et objets

Les processus, événements, états et objets sont déjà modélisés dans les ontologies de fondement telles que DOLCE² et BFO³. Dans ces

² <http://www.ontologydesignpatterns.org/ont/dul/DUL.owl>

ontologies, il existe une distinction fondamentale entre les entités statiques (appelées *continuants* ou *endurants*) et les entités dynamiques (appelées *occurents* ou *perdurants*) (Lewis, 1986) (Simons & Melia, 2000). Les concepts d'*occurents* correspondent aux entités se déroulant dans le temps au cours de différentes phases alors que les concepts de *continuants* correspondent aux entités sans partie temporelle. Cette distinction permet de classer les entités d'un domaine (comme les objets, les processus, les événements et les états) dans ces deux catégories. Sur la base des définitions fournies *supra*, nous pouvons facilement classer les objets dans les *continuants* et les événements dans les *occurents*. En effet, un événement est généralement considéré comme une instance d'un processus dans un intervalle de temps donné et il ne change pas. Un état est également considéré comme un *occurent* dans les ontologies de fondement bien qu'ils n'impliquent aucune dynamique comme le fait remarquer (Mourelatos, 1978).

La question est surtout de savoir dans quelle catégorie classer les processus ? En se référant au principe du quadridimensionnalisme (Sider, 2001), les processus sont des *occurents* (Lewis, 1986) (Simons & Melia, 2000). Toujours selon ce même principe, (Grenon & Smith, 2004) ont proposé dans BFO deux catégories d'ontologie : l'ontologie SNAP pour les objets (*Continuants* ou *Endurants*) et l'ontologie SPAN pour les processus et les événements (*Occurents* ou *Perdurants*). Dans DOLCE, les processus sont également classés dans les *occurents*. Bien que les processus soient considérés comme des *occurents* dans les ontologies de fondement, cette classification est discutée par certains philosophes. (Galton, 2008) et (Stout, 2003) ont envisagé un processus comme un *continuant*, puisqu'il peut subir des changements. Mais (Stout, 2003) va plus loin en distinguant les *continuants dynamiques* – les processus – des *continuants statiques* – les objets physiques. (Galton, 2008) quant à lui, propose deux ontologies : HIST (les *occurents*) contenant les événements et EXP (les *continuants*) contenant les processus et les objets.

2.3 Relations entre processus, événements, états et objets

Il existe des relations de haut niveau entre *continuants* et *occurents* qui peuvent être spécialisées pour définir des relations plus spécifiques entre les processus, événements, états et objets. Quelques relations, parmi les plus significatives pour la modélisation de la propagation des maladies infectieuses, sont maintenant présentées *infra*.

La participation : un *continuant participe* dans un *occurent* (Grenon & Smith, 2004). Un agent pathogène participe à la propagation d'une maladie.

³ <http://obofoundry.org/>

La *méréologie* : elle traduit la notion de relation de « partie-de » et s'applique à la fois aux *continuants* et aux *occurents*. Par exemple, un événement est constitué de processus.

La *hiérarchie* : elle modélise les relations d'héritage.

L'*internalité* et l'*externalité* : ces relations ont été proposées par (Galton & Mizoguchi, 2009). Elles permettent de mettre en évidence l'importance du « point de vue » dans la modélisation d'une structure complexe. En effet, selon le niveau de granularité où se situe notre observation, un processus peut être perçu comme interne ou externe à un objet donné. Par exemple, la réaction pathologique est interne à une personne infectée et la propagation lui est externe.

La *causalité* : la causalité peut être considérée comme l'un des postulats de base des systèmes complexes. En effet, si les systèmes complexes sont caractérisés par l'émergence de propriétés ou de comportements imprévisibles, ces émergences constituent également l'effet d'une cause. (Galton & Worboys, 2005) définissent un ensemble de relations causales entre événements et états :

- 1 *causal* relation : un événement « cause » un autre événement ;
- 2 *allow, prevent* : un état « autorise » l'occurrence d'un événement ;
- 3 *initiate, terminate* : un événement « initie » un état ;
- 4 *enable, disable, perpetuate* : un état « active » un autre état.

L'*énaction* a été introduite dans (Galton & Mizoguchi, 2009) pour caractériser la relation entre les objets et les processus auxquels ils participent activement : un objet « énonce » un *occurent*. Cette relation est primordiale en raison de la nature complexe du processus de propagation. Elle pourrait être utilisée pour modéliser les interactions entre les entités du domaine situées à différents niveaux de granularité.

3 Modèles de propagation des maladies infectieuses

Dans cette section, nous étudions le processus de propagation des maladies infectieuses afin d'identifier les entités et les relations à modéliser. Nous commençons par la présentation du modèle standard de propagation des maladies infectieuses développé dans le domaine des mathématiques. Puis, nous présentons un modèle du processus de contamination des individus qui détermine la propagation de la maladie dans la population. Enfin, nous décrivons le rôle joué par les facteurs de risque dans la propagation.

3.1 Modèle standard de propagation des maladies infectieuses

En épidémiologie, il existe un modèle mathématique standard du processus de la propagation d'une maladie infectieuse dans une

population (Kermack & McKendrick, 1927). C'est un modèle compartimental subdivisant la population en trois groupes d'individus selon leur état : les *Susceptibles*, les *Infectés* et les *Rétablis* (SIR). Un individu passe de l'état *susceptible* à l'état *infecté* après contamination et de l'état *infecté* à l'état *rétabli* après traitement. Le passage des individus d'un groupe à un autre détermine la propagation de la maladie dans la population. L'évolution de la recherche dans le domaine de l'épidémiologie a révélé par la suite, l'existence d'autres étapes possibles dans le cycle sanitaire des individus selon la maladie étudiée : l'*immunité à la naissance* (M) qui précède la susceptibilité, l'*exposition* (E) entre la susceptibilité et l'infection. Il y a également, la possibilité d'acquérir une immunité après le traitement (toujours noté R) mais aussi la possibilité de la perdre en réintégrant le groupe des susceptibles (S).

3.2 Modèle du processus de contamination

La contamination est le processus qui fait passer un individu de la population de l'état sain à l'état infecté par l'introduction d'un agent pathogène dans son organisme. La contamination par transmission est le passage de l'agent pathogène d'un individu infecté vers un individu sain. Il existe deux modes de transmission : la transmission directe et la transmission indirecte (figure 1). Cette dernière nécessite le passage de l'agent pathogène par ce qu'on appelle un vecteur de transmission, comme le moustique pour le cas du paludisme.

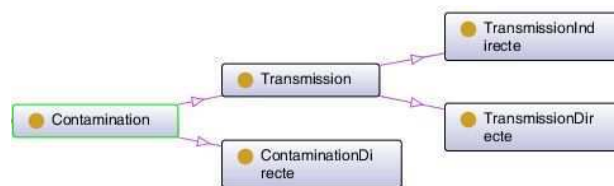


FIGURE 1 – Les modes de contamination des maladies infectieuses.

Une analyse plus fine (Santana et al., 2011) peut révéler d'autres processus impliqués dans le processus de contamination. Par exemple pour le cas de certaines maladies parasitaires, le parasite libéré dans un état (*œuf*) par un individu infecté se développe dans un autre hôte intermédiaire (jusqu'à l'état *larve* par exemple) avant d'être libéré pour infecter un autre individu sain. Dans ce papier, nous ne considérerons pas l'ensemble de ces sous-processus dans les moindres détails. Ils pourront être modélisés, si nécessaire, pour des ontologies de granularité plus fine.

3.3 Facteurs de risque de propagation de maladies infectieuses

Les facteurs de risque regroupent l'ensemble des éléments, appelés « *Réservoirs Pathogènes* » par (Santana et al., 2011), pouvant avoir un

impact sur la propagation des maladies infectieuses. Ils peuvent être liés à des facteurs biologiques (infection, susceptibilité, etc.), économiques (agriculture, pêche, etc.), environnementaux (points d'eau, climat, etc.), logistiques (hôpitaux, barrages hydroélectriques, etc.), comportementaux (manque d'hygiène, etc.), etc. Ils peuvent aussi être soit des événements déclencheurs d'occurrences d'autres événements ou de changement d'état d'un objet (par exemple, une pluie peut changer un point d'eau de l'état *sec* à l'état *rempli*), soit des états favorisant l'occurrence d'un événement ou d'un état (par exemple, un point d'eau à l'état *infesté* peut favoriser la *contamination* d'un individu). Ainsi, nous pouvons dire que les facteurs de risque jouent un rôle causal venant influencer avec une certaine probabilité (Fagot-Largeault, 2006) la propagation des maladies infectieuses. Nous considérons, dans la modélisation de la propagation des maladies infectieuses, les facteurs de risque comme des *occurents* car ils représentent des événements ou des états.

4 Une ontologie de la propagation des maladies infectieuses

Dans cette partie, nous adoptons un cadre conceptuel classique pour construire l'ontologie de la propagation des maladies infectieuses en section 4.1. La modélisation des ontologies du domaine et du processus de la propagation est également décrite. Un modèle général de la propagation est proposé en section 4.2 puis une analyse multidimensionnelle de sa dynamique est réalisée en section 4.3.

4.1 Cadre conceptuel

Le cadre conceptuel adopté pour construire l'ontologie de la propagation des maladies infectieuses est structuré en trois couches : l'ontologie de fondement, l'ontologie noyau et les ontologies spécifiques. Nous distinguons dans la couche spécifique les aspects statiques (ontologie du domaine de la propagation) et dynamiques (ontologie du processus de propagation) des maladies infectieuses (figure 2).

4.1.1 Couche fondement

Comme nous l'avons discuté dans la section 2, les concepts (et leurs relations) de processus, événement, objet et état sont déjà modélisés dans les ontologies de fondement. Par conséquent, nous réutilisons ces définitions abstraites pour la modélisation de l'ontologie de la propagation des maladies infectieuses.

Nous avons fondé notre choix sur trois critères : (i) la cohérence de la catégorisation des concepts de processus, événement, état et objet vis-à-vis de leurs sémantiques dans le domaine de la propagation des maladies infectieuses, (ii) la consistance de la réutilisation des relations entre ces

concepts pour couvrir les relations spécifiques à notre domaine et (iii) la réutilisation d'une ontologie de fondement par l'ontologie noyau du domaine des maladies infectieuses, c'est-à-dire IDO-Core.

L'ontologie de fondement BFO fournit des concepts et des relations qui peuvent être réutilisés pour la construction d'ontologie de domaine comme en biomédecine. Ceci la rend plus appropriée pour la modélisation ontologique du domaine des maladies infectieuses. En outre, IDO et son noyau réutilisent BFO comme ontologie de fondement. Par conséquent, pour maintenir notre objectif de réutilisabilité et d'interopérabilité dans le domaine des maladies infectieuses, nous avons choisi BFO comme ontologie de fondement (figure 2).

4.1.2 Couche noyau

La couche noyau d'une ontologie, comme le suggèrent (Rector & Rogers, 2004) et (Despres & Szulman, 2007), contient les concepts généraux et communs au domaine et les relations qui les lient – les maladies infectieuses dans notre cas. L'ontologie noyau des maladies infectieuses (IDO-Core), développée dans IDO, couvre les concepts et relations généraux du domaine des maladies infectieuses (agent pathogène, gène, cellule, organe, organisme, population, hôte, vecteur, humain, etc.) et leurs relations. IDO est rattachée à l'ontologie de fondement BFO. Les entités modélisées dans IDO relèvent de plusieurs dimensions : biologique (propriétés biologiques des agents pathogènes et leurs interactions avec l'organisme des individus infectés), clinique (traitement des individus de la population suite à une infection) et épidémiologique (étude des mécanismes de propagation des maladies infectieuses dans la population d'individus et leurs moyens de lutte et de prévention).

Pour garantir une interopérabilité et une réutilisabilité dans le domaine des maladies infectieuses, nous utilisons IDO-Core comme ontologie noyau dans notre modèle (figure 2).

4.1.3 Couche spécifique

La couche des ontologies de sous-domaines modélisent des aspects particuliers des maladies infectieuses (la propagation, le traitement, la pathologie, etc.). Notre modèle porte sur la propagation des maladies infectieuses (Infectious Disease Spread Ontology : IDSO) et propose deux ontologies (figure 2) : l'*ontologie du domaine* de la propagation (les aspects statiques) et l'*ontologie du processus* de propagation (les aspects dynamiques). Les relations entre ces deux ontologies sont aussi représentées dans le modèle général présenté dans la section suivante.

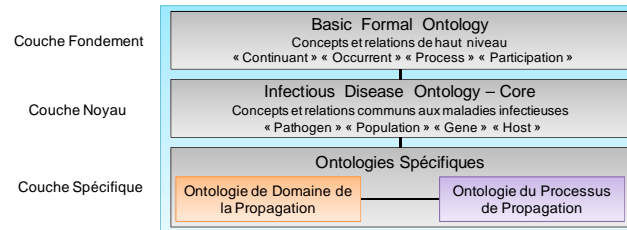


FIGURE 2 – Cadre de modélisation ontologique des maladies infectieuses.

4.2 Modèle général de propagation des maladies infectieuses

La propagation d'une maladie intervient dans une population d'hôtes et est influencée par des facteurs de risque. Dans notre modèle, une population est considérée comme une collection d'individus, donc un *continuant* (Wood & Galton, 2009). La propagation et les facteurs de risque sont considérés comme des *occurents*. Cependant, la relation entre les facteurs de risque et la propagation n'est pas facile à déterminer. En effet, considérons le cas d'un événement « pluie » se produisant en dehors du domaine du processus de propagation mais ayant un effet sur celui-ci. Nous pourrions être tentés d'utiliser la relation d'énaction mais son sujet doit obligatoirement être un objet conformément à la définition de (Galton & Mizoguchi, 2009). Il est donc nécessaire de définir une nouvelle relation ou de redéfinir l'énaction pour relier les facteurs de risque au processus de propagation. Pour l'instant, nous proposons d'utiliser la relation « détermine » pour exprimer le rôle de déterminant joué par les facteurs de risque dans la propagation des maladies.

Le processus de contamination « détermine » également le processus de propagation car son occurrence implique l'augmentation du nombre d'individus infectés dans la population (on parle aussi de prévalence). Ce processus implique au moins la participation d'un individu sain et d'un agent pathogène.

La figure 3 présente un modèle général du processus de propagation des maladies infectieuses. Les entités et les relations définies dans ce modèle général devront être spécialisées par un modèle d'une maladie particulière.

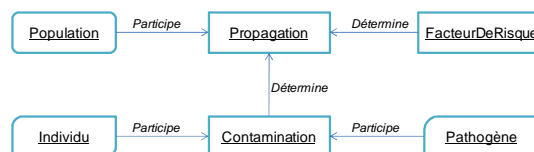


FIGURE 3 – Modèle général de propagation des maladies infectieuses.

La figure 4 explicite les liens hiérarchiques des concepts du modèle général de propagation avec leurs concepts équivalents ou parents dans

IDO-Core. Il s'agit plus particulièrement des concepts Propagation (IDSO_Spread), Contamination (IDSO_Contamination), Facteur de risque (IDSO_RiskFactor), Population (IDO_0000509), Individu (IDO_0000531), Pathogène (IDO_0000596). Rappelons que les concepts précédés d'IDO appartiennent à l'ontologie noyau et ceux sans préfixe se situant en haut de la hiérarchie appartiennent à l'ontologie de fondement BFO. Les concepts comme IDO_0000509 modélisant la population dans l'ontologie noyau n'ont pas besoin d'être étendus dans l'ontologie spécifique contenant le même concept.

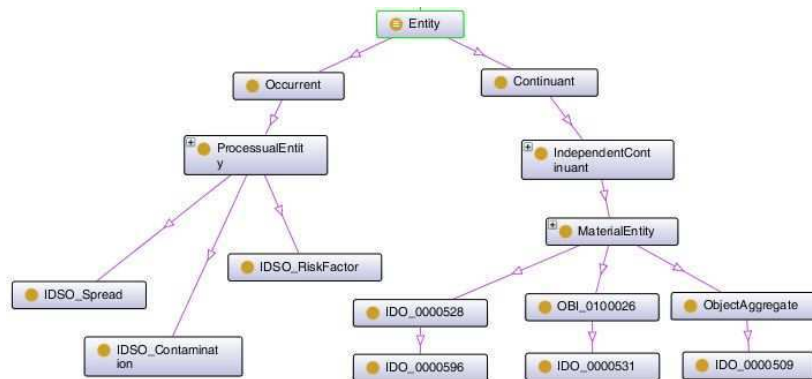


FIGURE 4. – Ontologie du domaine de la propagation.

4.3 Analyse de la dynamique de propagation

L'analyse d'un point de vue épidémiologie de la propagation des maladies infectieuses porte sur une population d'individus. Elle permet de comprendre le mécanisme de propagation de la maladie dans une population et de déterminer ses facteurs de risque. Si nous considérons la maladie à l'échelle d'un individu de la population, elle se caractérise par l'état de cet individu (infecté ou sain) au cours du processus de propagation. La prise en charge (diagnostic, traitement, etc.) d'un individu malade, ou pas, relève des compétences *cliniques*.

En analysant le phénomène à l'échelle biologique, nous nous apercevons de l'existence de processus résultant de l'infection comme la réaction physiopathologique des individus malades. D'autres processus comme le cycle de vie de l'agent pathogène, des individus ou du vecteur de la transmission de la maladie participent à la propagation. Ces processus, liés à l'évolution de ces êtres, peuvent être situés à l'échelle biologique.

Ainsi, la propagation d'une maladie infectieuse peut être observée et modélisée selon trois dimensions :

- 1 la première dimension concerne l'échelle de la population des êtres vivants. Une restriction est faite sur cette échelle en

considérant exclusivement la population humaine (H-Susceptible, H-Infecté, H-Rétabli) dans laquelle se propage la maladie. Nous aurons donc à ce niveau le processus de propagation de la maladie ;

- 2 la deuxième dimension concerne l'échelle des individus où nous pouvons identifier des objets comme l'homme, l'agent pathogène, le vecteur, etc. Nous situons à ce niveau les processus résultant de l'interaction entre deux individus de populations différentes comme le processus de contamination.
- 3 la troisième dimension concerne l'échelle de l'organisme des êtres vivants avec des processus comme le cycle de vie de l'agent pathogène, le cycle de vie du vecteur et la réaction pathologique de l'homme infecté. A cette échelle, il est plus difficile de parler des objets car on se rapproche des aspects cliniques et biologiques dont l'étude sort du cadre de ce papier. Néanmoins, ces processus impliquent des objets perceptibles comme l'homme, l'agent pathogène et le vecteur.

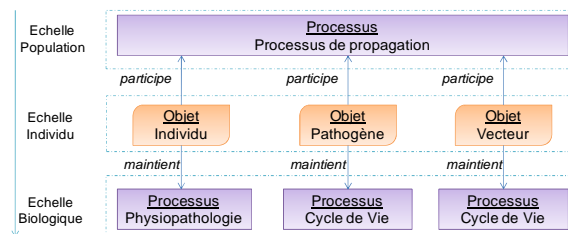


FIGURE 5 – Modèle multidimensionnel de la dynamique de propagation.

En résumé, les individus participent à un processus à l'échelle d'une population et maintiennent des processus à l'échelle biologique comme nous pouvons le voir dans la figure 5. Bien que la structure multidimensionnelle de la propagation ne soit pas encore formalisée à ce stade de notre travail, elle doit être prise en compte dans l'ontologie.

5 Cas d'application : propagation de la bilharziose au Sénégal

5.1 Propagation de la bilharziose

5.1.1 Connaissances du domaine de la bilharziose

La bilharziose est une maladie parasitaire touchant les mammifères. L'infection est due à un parasite qui se développe dans l'eau, vecteur de transmission de la maladie. Le processus de transmission implique des mollusques, hôtes intermédiaires des parasites. Les facteurs de risque

sont ceux ayant un lien avec la présence de l'eau comme la pluie, les aménagements hydro-agricoles et ceux favorisant le contact des individus avec l'eau comme la pauvreté, l'agriculture, la pêche. A cela s'ajoutent les facteurs biologiques, logistiques (les hôpitaux), etc. (cf. figure 6).

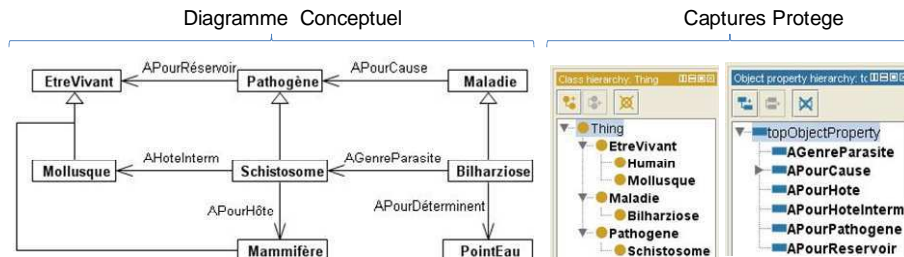


FIGURE 6 – Modèle conceptuel réduit des connaissances du domaine.

5.1.2 Processus de propagation de la bilharziose

Nous avons présenté dans la section 3.1 le modèle standard SIR de propagation des maladies infectieuses et ses différentes variantes. Pour le cas de la bilharziose, il existe un état intermédiaire entre la Susceptibilité (S) et l'Infection (I) : Exposition (E). Il est également possible pour un malade guéri d'acquérir une immunité temporaire contre la maladie. Ainsi le modèle complet du processus de propagation de la bilharziose est SEIRS.

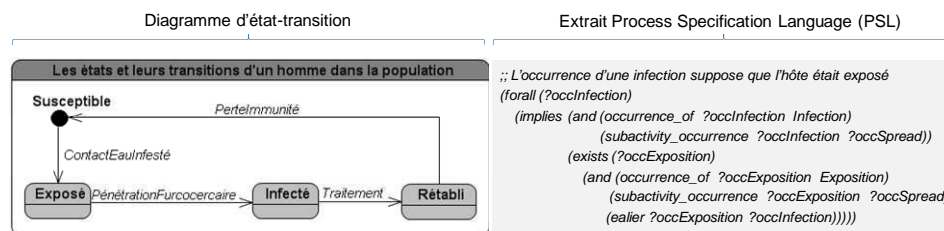


FIGURE 7 – Etats des individus et modèle SEIRS.

Pour rendre opérationnel le modèle du processus de propagation (section 4.2) et raisonner sur ce modèle, nous l'avons formalisé (Camara *et al.*, 2012) dans le langage de spécification de processus PSL² (Gruninger, 2009). Ce langage permet de représenter les séquences possibles d'un ensemble d'activités, leurs conditions de transition, leurs conditions d'occurrence, les effets de leurs occurrences et les entités participant dans leurs occurrences. En outre, l'expression de la sémantique du langage en logique du premier ordre permet d'automatiser le raisonnement sur les processus. Néanmoins, PSL conçu pour les

² <http://www.mel.nist.gov/psl/>

processus de manufacture a besoin d'être adapté pour la formalisation du processus complexe de propagation. Le modèle de la figure 7 illustre les différents états des individus et leurs processus de transition qui constituent des parties du processus de contamination ou de propagation.

5.2 Extension du modèle multidimensionnel pour la bilharziose

Le modèle multidimensionnel (cf. figure 4) est étendu au cas de la bilharziose. Nous retrouvons la dynamique globale (la propagation de la maladie), un ensemble de populations (les hôtes ou les humains, les agents pathogènes ou les parasites, et les hôtes intermédiaires ou les mollusques) et un ensemble de processus biologiques (ou organiques) au sein des individus des différentes populations (la réaction pathologique chez l'homme, le cycle de vie chez le parasite et le cycle de vie chez le mollusque).

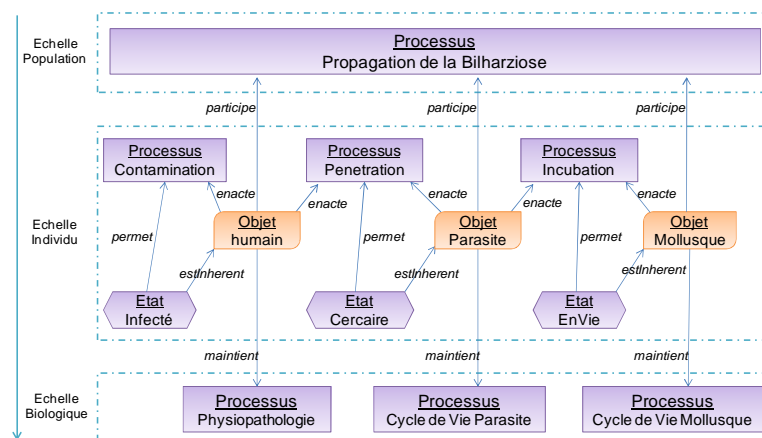


FIGURE 8 – Extension du modèle multidimensionnel pour la propagation.

La figure 8 présente un extrait d'une extension du modèle multidimensionnel de la dynamique de propagation des maladies infectieuses pour la bilharziose. Nous pouvons y voir par exemple le processus de pénétration qui implique un individu et un parasite en l'état de cercaire.

6 Conclusion

Après avoir dressé un état de l'art sur la modélisation des processus, nous avons étudié la dynamique de propagation des maladies infectieuses. Nous avons ensuite procédé à une analyse multidimensionnelle pour la modélisation du processus de propagation des maladies infectieuses. Au cours de cette analyse trois dimensions ont

été identifiées : l'échelle de la population, l'échelle des individus et l'échelle biologique. Chacune des dimensions comprend un ensemble de processus déterminant la propagation d'une maladie dans une population.

Le cadre conceptuel de construction d'une ontologie des maladies infectieuses que nous avons adopté est fondé sur des ontologies existantes dans le domaine des maladies infectieuses (IDO-Core) et l'ontologie de fondement (BFO). Il permet de distinguer la modélisation des aspects statiques et dynamiques des connaissances du domaine. Il reste à approfondir l'étude des ontologies IDO et BFO afin de réutiliser au mieux les modèles existants et proposer de nouveaux modèles de processus dans le domaine de la veille épidémiologique.

L'objectif principal de cette étude était de construire un modèle ontologique cohérent de la propagation des maladies infectieuses. Un modèle général pouvant être étendu à tous types de maladie infectieuse puisqu'il est fondé sur des concepts et des relations de haut niveau ou communs au domaine des maladies infectieuses a été proposé. Ce modèle a été appliqué à la propagation de la bilharziose au Sénégal. L'utilisation d'un tel modèle pour prévoir et contrôler la propagation des maladies infectieuses constitue un défi prometteur pour les systèmes de veille épidémiologique.

Dans nos travaux futurs, figure la finalisation de la formalisation de l'ontologie (extension de PSL, prise en compte de l'aspect multidimensionnel) afin de fournir des capacités de raisonnement dans des contextes d'usage opérationnel comme les systèmes de veille. Cette étape devrait permettre d'atteindre notre objectif de définition d'un mécanisme de simulation qualitative pour la réalisation de « prédiction » dans un contexte où les approches numériques font défaut (Camara, Despres, Djedidi, & Lo, 2012). Pour le cas de la propagation de la bilharziose au Sénégal, des modèles formels de l'ontologie de domaine et de l'ontologie des processus seront mis en œuvre dans un système de veille en temps réel pour aider les agents de santé publique à prévenir l'émergence et contrôler la propagation de la maladie.

Références

- Camara, G., Despres, S., Djedidi, R., & Lo, M. (2012). Modélisation ontologique de processus dans le domaine de la veille épidémiologique. Dans *Actes de la conférence Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'2012)*. Lyon.
- Camara, G., Despres, S., Djedidi, R., & Lo, M. (2012). Towards an ontology for an Epidemiological Monitoring System. Dans L. Rothkrantz, J. Ristvej, & Z. Franco (Éd.), *Proceedings of the 9th International ISCRAM*. Vancouver, Canada.
- Despres, S., & Szulman, S. (2007). Merging of Legal Micro-Ontologies From European Directives. *Artificial Intelligence and Law*, 15 (2), 187-200.

- Fagot-Largeault, A. (2006). Épidémiologie et causalité. Dans A.-J. Valleron, *L'épidémiologie humaine. Conditions de son développement en France et rôle des mathématiques* (pp. 237-245). Paris: EDP sciences.
- Forbus, K. D. (1997). Qualitative Reasoning. *The Computer Science and Engineering Handbook*, 715-733.
- Galton, A. (2008). Experience and History : Processes and their Relation to Events. *Journal of Logic and Computation*, 18 (3), 323-340.
- Galton, A., & Mizoguchi, R. (2009). The water falls but the waterfall does not fall : New perspectives on objects, processes and events. (I. Press, Ed.) *Applied Ontology*, 4, 71-107.
- Galton, A., & Worboys, M. F. (2005). Processes and events in dynamic geospatial networks. (M. A. Rodriguez, I. F. Cruz, M. J. Egenhofer, & S. Levashkin, Eds.) *Lecture Notes in Computer Science*, 3799, pp. 45-59.
- Grenon, P., & Smith, B. (2004). SNAP and SPAN : Towards dynamic spatial ontology. *Spatial Cognition and Computation*, 4, 69-103.
- Gruninger, M. (2009). Using the PSL Ontology. Dans S. Staab, *Handbook of Ontologies* (pp. 419-431). Berlin: Springer-Verlag.
- Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of The Royal Society of London. Series A, Containing Papers of A Mathematical and Physical Character (1905-1934)*, 117 (772), 700--721.
- Le Moigne, J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris: Dunod.
- Lewis, D. (1986). *On the Plurality of Worlds*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Mourelatos, A. P. (1978). Events, Processes and Events. *Linguistics and Philosophy*, 2 (3), 415-434.
- Rector, A., & Rogers, J. (2004). Patterns, properties and minimizing commitment: Reconstruction of the Galen upper ontology in OWL. Dans A. Gangemi, & S. Borgo (Ed.), *EKA'04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering*. CEUR.
- Santana, F., Schober, D., Medeiros, Z., Freitas, F., & Schulz S. (2011). Ontology patterns for tabular of biomedical knowledge on neglected tropical diseases. *Bioinformatics*, vol.27 ISMB 2011, i349-i356.
- Sider, T. (2001). *Four-Dimensionalism: An Ontology of Persistence and Time*. Oxford: Clarendon Press.
- Simons, P., & Melia, J. (2000). Continuants and Occurrents. *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes*, 74, 59-75+77-92.
- Stout, R. (2003). The life of a process. Dans G. DEBROCK (Éd.), *Process Pragmatism : Essays on a Quiet Philosophical Revolution*. (pp. 145-158). Amsterdam/New York: Rodopi.
- Studer, R., Richard Benjamins, V., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*, 25 (1-2), 161-197.
- Talla, I., Kongs, A., & Verlé, P. (1992). Preliminary study of the prevalence of human schistosomiasis in Richard-Toll (the Senegal river basin). *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 86 (2), 182-191.
- Wood, Z., & Galton, A. (2009). A taxonomy of collective phenomena. *Applied Ontology*, 3-4, 267-292.